

文章编号: 1001-3806(2004)04-0424-03

90° 转向复合延迟器件的研制

赵 培, 李国华

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 为实现延迟器件出射光束的 90° 转向功能, 提出了一种新的设计, 利用一等腰直角菱体延迟器和一平板延迟器的组合, 使光束在菱体延迟器上发生全反射而转向 90°, 同时使器件具有延迟功能。测试表明, 实际制作的器件的误差完全在允许范围内, 说明这一设计是合理的。

关键词: 延迟器; 转向; 全反射; 双折射

中图分类号: O435.1 文献标识码: A

The development of 90° deflecting compound retarder

ZHAO Pei, LI Guo-hua

(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: In order to make the exit beam of a retarder to deflect 90°, a new method of the design of a retarder is given. Using combination of a rhombus retarder and a parallel plate retarder to make the beam deflect 90° on the rhombus retarder for total reflection and make the retarder have a function of delay. Testing shows that the error of the retarder is permissible, which proves the design is reasonable.

Key words: retarder; deflection; total reflection; birefringence

引 言

延迟器件是光学应用技术中的重要器件, 它可以实现光在不同偏振态之间的转换, 光的偏振面的旋转以及光波的调制, 在科研和实际生产中应用十分广泛^[1]。延迟器件的设计方法很多, 通常使用的延迟器件有平板型延迟器和菱体型延迟器。平板型延迟器利用双折射晶体的双折射特性制成, 常用的材料有云母和石英等。菱体型延迟器利用全反射原理由光学玻璃制成, 一般情况下, 材料的折射率不是很大, 因此, 要让光束发生多次全内反射, 以达到足够的延迟差。

通常光束通过延迟器件方向不发生改变, 对于转向延迟器件的研究较少, 常见的有穆尼菱体^[2], 也有人提出过在等腰直角菱体的斜面上镀制单层介质膜的方法^[3]实现光束的转向并产生一定的延迟差。在偏光技术应用中, 有时需要光路的转向, 如果延迟器件能兼有光路转向作用, 不仅简化光路设计, 而且

也减少了因系统中加入器件而引起的偏振态的改变。因此, 研究转向延迟器具有一定的实际意义, 为此, 提出了 90° 转向延迟器件的设计。目的在于不仅使延迟器件产生一定延迟差而且使光束的方向发生 90° 的转向。该延迟器被设计成二元复合结构, 第 1 部分设计为平板型, 由双折射晶体作成, 第 2 部分设计为等腰直角菱体, 光束在第 2 部分发生转向, 从而实现 90° 转向的目的。

1 设计原理

晶体延迟器件其光轴平行于器件的表面, 当一束线偏光垂直进入延迟器后被分解为两束振动相互垂直的线偏光, 其中一束的振动方向和光轴平行, 称为 e 光, 另一束的振动方向和光轴垂直, 称为 o 光。o 光 e 光在晶体内的传播速度不同, 因此, 光从延迟器出射后会有一定的延迟差, 记为 $\Delta\delta_1$, 其 $\Delta\delta_1$ 决定于 n_o , n_e 和器件的厚度 d , 计算公式如下:

$$\Delta\delta_1 = \pm \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d \quad (1)$$

式中, λ 为光波波长, n_o , n_e 分别为 o 光、e 光的折射率, d 为板的厚度, 对于正单轴晶取“+”, 负单轴晶取“-”。

菱体型延迟器的设计原理是全反射原理, 如图

作者简介: 赵 培(1977), 男, 硕士研究生, 从事光学薄膜方面的工作。

E-mail: ghli@63169.net

收稿日期: 2003-07-25; 收到修改稿日期: 2003-09-18

1 所示,入射光可以分解为和入射面平行的平行分量 A_p 以及和入射面垂直的垂直分量 A_s , 同样,反射光可以做类似的分解。

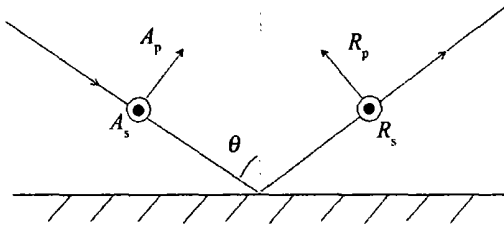


Fig. 1 Total reflection

利用菲涅耳公式,会得到如下结果^[4]:

$$\begin{cases} R_p = \frac{\cos \theta - i n \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{\cos \theta + i n \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}} A_p \\ R_s = \frac{n \cos \theta - i \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{n \cos \theta + i \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}} A_s \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \tan \frac{\delta_p}{2} = - \frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{\cos \theta} \\ \tan \frac{\delta_s}{2} = - \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{n \cos \theta} \end{cases} \quad (3)$$

式中, θ 为入射角, $n \equiv n_{12} = n_2/n_1$, n_1 为光疏介质折射率, n_2 为光密介质的折射率。

由(2)式得, $|R_p| = |A_p|$, $|R_s| = |A_s|$, 说明全反射过程中反射光和入射光各分量的振幅相等,即反射光和入射光的强度是相同的。由(3)式看出,全反射时,各分量的相位发生了变化,不再相等。以上说明,如果入射光是一束线偏光,则反射光会变成一束椭圆偏光,但光强不发生变化。

全反射过程中,平行分量和垂直分量各自的位相发生了改变,但改变量不同,所以反射光中的两个分量便有了相位差,记为 $\Delta\delta_2$, 取 $\Delta\delta_2 = \delta_s - \delta_p$, 其值可由(3)式得出:

$$\tan \frac{\Delta\delta_2}{2} = \tan \left[\frac{\delta_s}{2} - \frac{\delta_p}{2} \right] = \frac{\cos \theta \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{n \sin^2 \theta} \quad (4)$$

求解得到:

$$\Delta\delta_2 = 2 \arctan \frac{\cos \theta \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{n \sin^2 \theta} \quad (5)$$

由(4)式看出, $\tan(\Delta\delta_2/2) > 0$, 即 $\delta_2 > 0$, 说明垂直分量超前于平行分量。

90° 转向延迟器件设计为二元复合结构,如图 2 所示。

器件结构如图 2a 所示,第 1 部分为光轴平行于入射表面的平板型延迟器,材料取为单轴双折射晶体,厚度为 d ,长宽都为 l 。第 2 部分为等腰直角菱

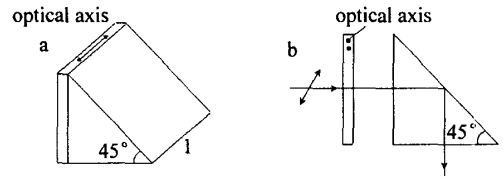


Fig. 2 90° deflection compound retarder
a—structure figure b—beam path figure

体,材料取为光学玻璃,斜面与底面的夹角为 45°,边长为 l 。两个单元的入射表面平行,用光学胶胶合在一起。

图 2b 为光路图,一束波长为 λ 的线偏光垂直入射到第 1 部分内,分解为振动相互垂直的 o 光、e 光,出射时产生一定的延迟差 $\Delta\delta_1$, 然后入射到第 2 部分内,分解为平行分量 A_p 和垂直分量 A_s , 在菱体的斜面上发生全内反射,入射角为 45°, 并且产生位相延迟差 $\Delta\delta_2$, 同时光束发生 90° 转向。总的延迟量 $\Delta\delta$ 为两部分的代数和。这里要区分两种情况:(1) 第 1 部分的快轴平行于第 2 部分的入射面,即快光在第 2 部分内为 A_p 分量,则:

$$\Delta\delta = \Delta\delta_1 - \Delta\delta_2 \quad (6)$$

(2) 第 1 部分的快轴垂直于第 2 部分的入射面,即快光在第 2 部分内为 A_s 分量,则:

$$\Delta\delta = \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 \quad (7)$$

因此,总的延迟量为:

$$\Delta\delta = \left| \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d \right| \pm 2 \arctan \frac{\cos \theta \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}}{n \sin^2 \theta} \quad (8)$$

由(8)式看出,对于一定的光波波长, $\Delta\delta$ 由 4 个参数决定,即第 1 部分的双折射率、厚度和第 2 部分的折射率和入射角。下面分别进行讨论。

(1) 双折射率和厚度对 $\Delta\delta$ 的影响是线性的。一般来说,光波的波长非常的短,因此,这两个参数对 $\Delta\delta$ 的影响是非常大的,这就要求尽可能地选用双折射率小的材料。对于片子的厚度,也要求尽可能的小,这样器件受外界的影响会小一些。

(2) 折射率 n 的影响。 $\theta = 45^\circ$ 时,计算 $\Delta\delta$ 随 n 的变化曲线如图 3 所示。从图中看出,随 n 从 1.42 变化到 2.20, $\Delta\delta$ 从 10° 单调增到 80°。并且,当 n 较小时曲线的斜率较大,随着 n 增加,斜率减小,这说明可以选择折射率较大的材料来制作直角菱体,这样当 n 变化时 $\Delta\delta$ 的变化小一些。

(3) 入射角 θ 的影响。图 4 中画出了材料为

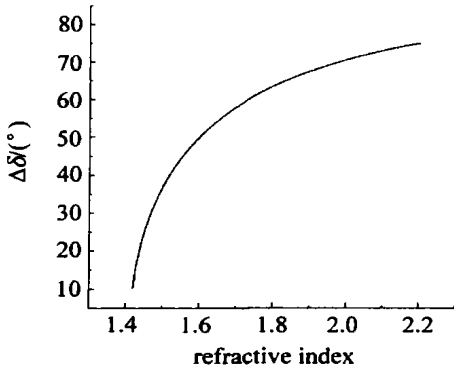


Fig.3 The change of retarder with refractive index

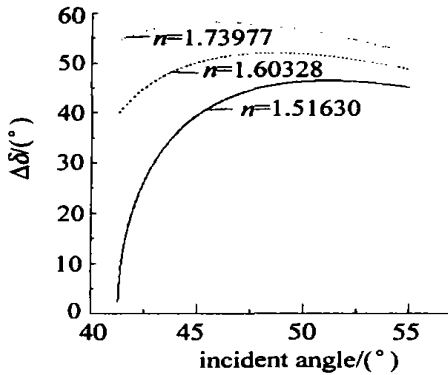


Fig.4 The change of retarder with incident angle

$n = 1.51630$ (K₉ 玻璃), $n = 1.60328$ (F₁ 玻璃) 以及 $n = 1.73977$ (ZF5 玻璃)^[5] 时 $\Delta\delta$ 随入射角 θ 变化曲线。从图中看出, 3 条曲线的变化规律相似, 都有一个极值点, 极值点左方 $\Delta\delta$ 随 θ 单调增, 极值点右方 $\Delta\delta$ 随 θ 单调减。随着 n 增大, 极值变大, 极值点左移, 并且曲线变得平滑。这说明, 当 n 较大时, $\Delta\delta$ 对 n 的变化不敏感。这说明, 在设计器件时应选择 n 较大的材料, 入射角设计在极值点附近, 这样, $\Delta\delta$ 随入射角的变化会小一些, 增加了延迟器件的稳定性。

(8) 式是设计的理论基础, 选择合适的参数可以得到所需要的延迟差, 做成不同的延迟器件。若 $\Delta\delta = 2k\pi + \pi/2$, 则为 $\lambda/4$ 延迟器。若 $\Delta\delta = 2k\pi + \pi$, 则为 $\lambda/2$ 延迟器。 $\Delta\delta = 0$ 时具有保偏功能。

2 设计实例

下面对 632.8nm 的光波, 以晶体石英和 K₉ 玻璃为材料, 具体计算 $\lambda/4$ 延迟器的参数。先计算第 2 部分的延迟差, 选择折射率为 1.51630 的 K₉ 玻璃作为菱体的制作材料, 其临界角 $\alpha = 41.3^\circ$, 小于 45° , 满足要求。把入射角 $\theta = 45^\circ$, $n = 1.51630$ 代入 (5) 式得到: $\Delta\delta = 39.7^\circ$ 。对于第 1 部分, 28℃ 时, 对于 632.8nm 的光波, 石英晶体的双折射率为 $n_e - n_o = 0.00905$, 让快轴平行于第 2 部分的入射面, 应用 (6) 式, 即 $\Delta\delta = \Delta\delta_1 - \Delta\delta_2$, 求出 $\Delta\delta_1 = \Delta\delta + \Delta\delta_2$ 。由 (1) 式, $\Delta\delta_1 = \Delta\delta + \Delta\delta_2 = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda$, $\Delta\delta = 2k\pi + \pi/2$, 取 $k = 0$, 则 $d = 25.2\mu\text{m}$ 。

利用本所成熟的晶体延迟器件制作技术, 石英片子的加工厚度在 1.3mm 左右, 计算的 $k = 18$, 测得延迟差为 129.7° 。胶合后测量延迟差为 88.7° , 延迟偏差在 1.4% 左右, 完全在要求的标准偏差之内, 说明设计是正确的。

3 总结

提出了一种二元复合结构的转向延迟器件的新设计, 从理论上推导出了延迟差的计算公式, 讨论了各个参数对延迟差的影响。分析表明, 在设计器件时应该尽可能地选择折射率较大的材料制作菱体, 这样, 器件的延迟差更稳定。实际制作时, 两部分用光学胶胶合在一起使用。

参考文献

- [1] 金国藩, 李景镇. 激光测量学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 228.
- [2] 波恩 M, 沃耳夫 E. 光学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1978. 73.
- [3] 李景镇, 苏世学, 赵俊民. 光学手册 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 576~578.
- [4] 王政平, 阮顺龄, 孙伟民. 单层介质膜反射棱镜式光学相位延迟器件研究 [J]. 光子学报, 1997, 26(6): 555~559.
- [5] 姚启钧. 光学教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1989. 567.